

# **Soldadura por ultrasonidos de materiales compuestos:**

## **Ventana de proceso CF-PEI**

Diseño y Producción de Estructuras Compuestas

Berta Navarro Rodríguez



Delft University of Technology

## ÍNDICE

1. INTRODUCCION .....	2
2. OBJETIVOS .....	3
3. MATERIAL DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	5
4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	6
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	7

## 1. INTRODUCCION

Los materiales compuestos están formados por la unión de dos materiales para lograr la combinación de propiedades que no se puede obtener en los materiales originales. Estos compuestos pueden ser seleccionados para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza y conductividad.

Los materiales compuestos termoplásticos y termoestables tienen una amplia gama de aplicaciones en el transporte terrestre, industria aeroespacial y estructuras marinas. Estos presentan muchas ventajas si se les compara con los metales en las mismas aplicaciones, razón por la que el uso de materiales compuestos poliméricos esta aumentado. Los materiales compuestos termoplásticos pueden soldarse, mientras que los termoestables no.

La unión de materiales compuestos termoplásticos es un paso importante en la fabricación de estructuras aeroespaciales. Existen diferentes técnicas para la unión de materiales compuestos termoplásticos pero la soldadura por ultrasonidos es sin duda la técnica más prometedora y ofrece muchas ventajas sobre otras técnicas de unión.

La soldadura por ultrasonidos es un proceso que utiliza una alta frecuencia de vibración mecánica para soldar las piezas. Las partes a soldar están unidas bajo presión y luego se someten a una oscilación de alta frecuencia para transmitir vibraciones a través del material. Es posible concentrar el calor en la interfase de la unión por la aplicación de una delgada capa de resina, llamada energy director (ED).

Las principales ventajas que ofrece la soldadura por ultrasonidos son tiempos cortos de proceso y una excelente calidad, a parte de ser un proceso simple y limpio.

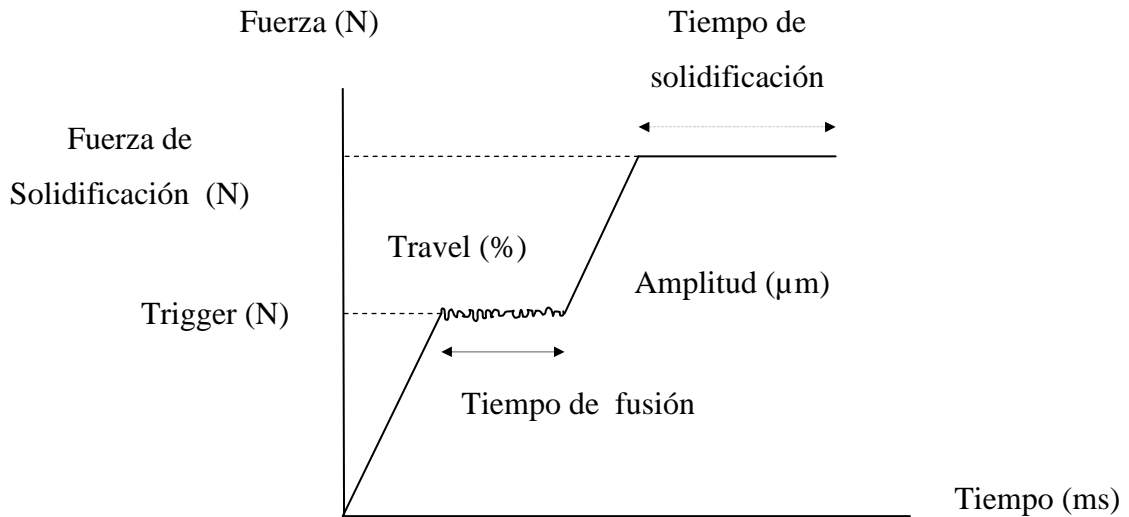
## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es averiguar la ventana de proceso para el material CF-PEI. Esto quiere decir, averiguar qué combinaciones de los parámetros que intervienen en el proceso, hacen que los resultados de la soldadura sean aceptables.

Para ello, se realizarán tests de soldadura y ensayos mecánicos para obtener resultados como el tiempo de fusión, la máxima potencia, la energía consumida durante el proceso así como la resistencia de la unión. Para un mejor entendimiento se realizará también un estudio de la superficie de fractura de las muestras tras los ensayos mecánicos.

Diferentes parámetros están implicados en el proceso de soldadura por ultrasonidos. Los parámetros de entrada para controlar el proceso son: la fuerza de disparo (trigger), la amplitud de la vibración aplicada para generar el calor para fundir el energy director (ED), el travel, la fuerza de la solidificación y el tiempo de solidificación. El travel es el desplazamiento máximo del sonotrodo contra las muestras durante el proceso, medido como porcentaje del espesor de los energy directors. En este estudio, la combinación de estos parámetros, que conducen a obtener unos resultados satisfactorios, será investigada.

La figura 1 muestra el proceso de soldadura por ultrasonidos. El proceso de soldadura se inicia por la fuerza de disparo (trigger). Cuando esta fuerza se alcanza, el sonotrodo proporciona la vibración y el conjunto comienza a calentarse. En ese momento, el travel comienza a ser medido. La vibración se detiene cuando el travel es alcanzado. Finalmente, la fuerza de solidificación es aplicada durante el tiempo de solidificación. Los parámetros de salida en el proceso son: el tiempo de fusión, la máxima potencia y la energía.

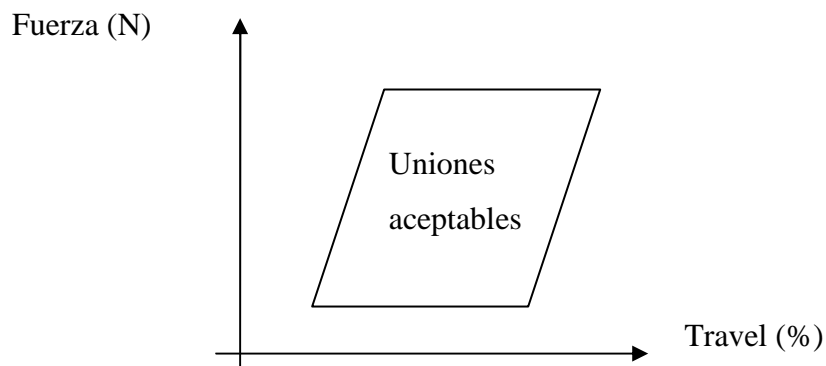


*Figura 1. Diagrama del proceso de soldadura por ultrasonidos*

*Parámetros de entrada: trigger, amplitud, travel, fuerza de solidificación y tiempo de solidificación*

Es importante saber cómo de ancha es la ventana de proceso porque las combinaciones dentro de esta área serán las aceptables. Fuera de esta área, la cualidad de las soldaduras no será adecuada y no será interesante trabajar con esas condiciones.

A modo de ejemplo, la figura 2 muestra un esquema de la ventana de proceso para el material de estudio:



*Figura 2. Esquema de una ventana de proceso CF-PEI*

### 3. MATERIAL DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El material empleado es polieterimida (PEI) reforzado con fibra de carbono. PEI es un material termoplástico amorfo que ofrece resistencia excepcional y una alta resistencia al calor. Este material se suele utilizar en aplicaciones aeroespaciales e industriales.

El material es suministrado en rollos por la empresa TenCate Advanced Composites. Siete laminados de CF-PEI fueron creados en el laboratorio de materiales de la universidad TU-Delft. Cada laminado está formado por seis capas de CF-PEI y el espesor final de cada laminado es de 1,92-1,94mm aproximadamente.

El primer paso fue cortar seis capas de CF-PEI preimpregnado. Éstas fueron colocadas en un horno a 270°C durante una hora para eliminar lo más posible el NMP (N-metil pirrolidona, compuesto químico presente en la resina). Una vez eliminado el NMP, el siguiente paso fue apilar las seis capas para llevarlas a la prensa y así obtener el laminado.

Una vez que los laminados fueron creados, sus cualidades fueron inspeccionadas mediante C-scan ultrasonidos y los resultados fueron revisados con el software ALIS. Después de la inspección, cada laminado fue cortado en pequeñas piezas con las siguientes dimensiones: 101.6 milímetros de largo y 25.4 milímetros de ancho.

El siguiente paso fue limpiar las muestras con un líquido especial, PFQD (disolvente industrial que deja libre de residuos las superficies) y fueron secadas en un horno durante seis horas (una hora por capa) a 135°C con el fin de eliminar la humedad. Finalmente, las muestras fueron colocadas en un desecador con el objetivo de mantenerlas secas. En este momento, las muestras se encuentran preparadas para ser soldadas y testadas en la máquina de tracción para obtener así los valores de resistencia que definirán la ventana de proceso.

#### 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Varios tests se realizaron usando diferentes combinaciones de parámetros. Los parámetros a estudiar fueron: el trigger, el travel y la amplitud. Los valores del trigger fueron: 300, 500, 1000 y 1500N. Para cada valor, se emplearon dos amplitudes diferentes 19,8 (amplitud 1) y 33  $\mu$ m (amplitud 9).

La fuerza de solidificación y el tiempo de solidificación son parámetros involucrados también en el proceso. El valor de la fuerza de solidificación fue de 1000 N y el valor del tiempo de solidificación fue en un principio 1.200 ms. Estos valores fueron elegidos en base a investigaciones previas en la Universidad Tecnológica de Delft. Durante la investigación llevada a cabo en este proyecto, las superficies de fractura de las muestras presentaban numerosas burbujas. Para resolver este problema, el valor del tiempo de solidificación se incrementó de 1.200ms a 3000ms.

Cada combinación del trigger y de la amplitud fue estudiada con varios valores del travel. Las muestras soldadas fueron mecánicamente testadas para definir los valores límites del travel y en consecuencia la ventana de proceso.

La ventana de proceso se define de acuerdo a los valores obtenidos a través de los ensayos mecánicos. Es necesario definir un criterio para estudiar qué valores de resistencia son aceptables con una baja dispersión. El valor más alto obtenido en los experimentos fue de 40MPa. El criterio utilizado para definir la ventana de procesamiento fue considerar únicamente los valores superiores al 80% del valor más alto (40MPa). Así que los valores por encima de 32MPa ( $0.8 \times 40\text{MPa} = 32\text{MPa}$ ) se consideran dentro de la ventana de proceso.

Asimismo con el valor del coeficiente de variación (COV se define como el cociente entre la desviación estándar y la media) es posible definir si las combinaciones de

parámetros se encuentran dentro de la ventana de proceso. Las distribuciones con  $COV > 6$  se consideran que tienen una dispersión excesiva y por lo tanto quedan excluidas de la ventana de proceso.

Para una mejor comprensión del proceso de soldadura y de la influencia de los diferentes parámetros empleados, los resultados serán analizados conjuntamente con las superficies de fractura de las muestras.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación, desarrollada en el período comprendido entre octubre de 2010 y junio de 2011, se centró en el estudio y en el análisis de las combinaciones de los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura por ultrasonidos, que dan soldaduras aceptables con el objetivo de determinar la ventana de proceso para el material CF-PEI.

Muchas de las muestras fueron testadas con un valor del tiempo de solidificación de 1200ms. En las superficies de fractura de dichas muestras, gran cantidad de burbujas fueron encontradas. Con el transcurso de la investigación, el tiempo de solidificación fue aumentado hasta 3000ms, observándose la desaparición de las burbujas en la mayoría de los casos, especialmente cuando el travel empleado era mayor. Además, los resultados obtenidos de la resistencia y de COV fueron mejores si el proceso de soldadura se ejecutaba con un tiempo de solidificación de 3000ms.

Analizando la superficie de fractura de las muestras, fue posible observar que las burbujas y los restos de resina eran menores si el proceso se ejecuta con un alto travel. Además, si el valor del trigger era bajo, el valor de la resistencia obtenida tras los ensayos mecánicos, para el mismo travel, era mayor y es más interesante realizar el proceso de soldadura con una bajo trigger que con un alto valor del trigger. Pero en este caso, el proceso consume más energía y el tiempo de fusión requerido es



mayor. Habría que encontrar un equilibrio entre altos valores de resistencia y bajo consumo de energía durante el proceso, así como menor tiempo de fusión.

No fue posible encontrar la ventana de proceso para CF-PEI empleando una alta amplitud (Amplitud 9) debido a la falta de tiempo. Sería muy interesante repetir todos los experimentos con las mismas condiciones (mismos valores del travel, tiempo de solidificación 3000ms y fuerza de solidificación 1000N) pero con amplitud 9, para estudiar y analizar la influencia en los resultados al aumentar el valor de la amplitud. Esta comparación se analizará en función de los datos obtenidos de tiempo de fusión, de energía, de máxima potencia, de resistencia y COV.